

УДК 004.9:504:519.6

**ПРОГНОЗ РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ ВО ВРЕМЯ ПОЖАРА
В ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ ЗОНЕ ОТЧУЖДЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
СИСТЕМЫ JRODOS**

И.В. Ковалец¹, А.Н. Романенко², С.Н. Анулич¹, Е.А. Евдин¹

¹Институт проблем математических машин и систем НАН Украины,

²ОП «Ривненская АЭС»

e-mail: ik@env.com.ua

Введение. 27 апреля 2015 г. в Чернобыльской зоне отчуждения произошел один из самых масштабных пожаров за последние 20 лет, который охватил территорию около 350 га [1]. Это событие вызвало активное обсуждение в СМИ. Обществом особенно интересовал вопрос о возможности ухудшения радиационной обстановки за пределами зоны отчуждения, в частности, в г. Киеве. Наряду с многочисленными спекуляциями, в прессе появлялись и комментарии специалистов. Например, директор УкрНИИСХР НУБиП Украины Валерий Кашпаров в интервью газете ОБОЗРЕВАТЕЛЬ.UA утверждал: «Концентрация радионуклидов в воздухе после пожара не сможет привести к дополнительным сколь-нибудь значимым дозовым нагрузкам для населения (тысячные уровни от естественного природного фона или допустимого уровня) или вторичному загрязнению территорий (более чем в миллион раз ниже существующего загрязнения в самых "чистых" местах Украины)» (<http://kiyany.obozrevatel.com/life/87159-pozhar-v-chernobyile-mnenie-uchenogo-ob-ugroze-radiatsii.htm>). Последующие события подтвердили правоту данного утверждения. Однако, по мнению авторов, наличие официальных оперативных научно-обоснованных прогнозов радиационной обстановки во время пожара могло бы стать эффективным средством информирования обеспокоенной общественности о незначительных масштабах возможных последствий пожаров за пределами зоны отчуждения. Поскольку официальные прогнозы такого рода отсутствовали, в Институте проблем математических машин и систем НАН Украины (ИПММС) 29 апреля был произведен и отправлен в Украинский гидрометцентр прогноз изменения радиационной обстановки в Украине в результате пожаров в Чернобыльской зоне отчуждения. Данные этого прогноза, а также результаты сопоставления с соответствующими измерениями представлены в настоящей статье.

Система JRODOS. ИПММС НАН Украины в рамках бюджетных тем НАН Украины, а также международных проектов Рамочных программ ЕС, участвует в разработке системы европейской поддержки принятия решений в случае аварий на атомных станциях JRODOS [2]. Эта система включает в себя математические модели и базы данных для прогнозирования и оценки последствий возможных радиационных аварий, а также планирования неотложных и долгосрочных контрмер. Математические модели JRODOS, разработанные более чем в 20 европейских институтах, используют информацию систем стационарного радиологического мониторинга, оперативных метеорологических прогнозов или сценариев развития гидрометеорологической ситуации для прогнозирования миграции радионуклидов в воздушной среде, выпадений на водосборы, транспорта радионуклидов водными потоками и их миграции в сельскохозяйственной продукции, в природных экосистемах для расчета доз внутреннего и внешнего облучения персонала и населения в зоне аварии. В последние годы система JRODOS внедрена в Украине, и на основе этой системы JRODOS планируется создать Национальный центр реагирования на радиационные аварии, в состав которого будут входить ключевые ведомства, ответственные за радиационную безопасность (НАЭК «Энергоатом», ГСЧС и ГИЯРУ Украины).

Сценарій виброса. Оценим интенсивность выброса радионуклидов при пожаре в Чернобыльской зоне отчуждения. Приближенную оценку можно получить следующим образом: согласно работе [3] при сгорании единицы площади леса в Чернобыльской зоне, в воздух попадает приблизительно 4.5% загрязнения, находящегося на этой территории. Сопоставляя интерактивную карту пожаров, составленную ТСН.ua (<http://tsn.ua/ukrayina/lisovi-pozhezhi-u-chornobilskiy-zoni-interaktivna-mapa-424341.html>) с картой загрязнения 30-км зоны [4], оценим среднюю поверхностную плотность загрязнения ^{137}Cs на территории, подверженной пожарам $200 \cdot 10^3 - 2000 \cdot 10^3 \text{ Бк/м}^2$. Столь большая неопределенность связана с близостью территории пожаров (с. Лубянка) к местам расположения пятен больших выпадений цезия.

Чтобы оценить интенсивность выброса при пожаре (количество радиоактивности, поступающей в атмосферу в единицу времени), воспользуемся статистическими данными из Википедии, согласно которым «средняя продолжительность лесных крупных пожаров 10-15 суток при выгорающей площади — 450—500 гектаров» (https://ru.wikipedia.org/wiki/Лесной_пожар). Исходя из приведенных данных будем считать, что в среднем при лесном пожаре за 10 суток сгорает 500 га леса. Следовательно, на основании приведенных выше данных, можем оценить интенсивность выброса ^{137}Cs : $Q = 5 \cdot 10^4 - 5 \cdot 10^5 \text{ Бк/с}$. В представленных ниже результатах, за исключением специально оговоренных случаев, предполагалось значение выброса $Q = Q_{\min} = 5 \cdot 10^4 \text{ Бк/с}$. Следовательно, уровень неопределенности прогноза составляет 1 порядок.

Результаты расчетов. Прогноз радиационной обстановки был составлен от 29 апреля, 6 ч утра по Гринвичу. Предполагалось, что пожар будет продолжаться следующие четыре дня. В расчетах использовались данные численного прогноза погоды, вычисленные для территории Украины с помощью системы прогноза погоды WRF-Украина (горизонтальное пространственное разрешение $\approx 30 \text{ км}$), разработанной в ИПММС и применяемой в настоящее время для обеспечения прогностическими данными системы JRODOS, установленной на украинских АЭС [5]. Прогноз распространения радиоактивности производился с помощью модели дальнего переноса MATCH системы JRODOS, разработанной в Шведском гидрометеорологическом институте. В последнее время эта модель прошла успешную верификацию на основе сопоставления измерений и результатов расчетов планетарного распространения радионуклидов в следствие аварии на АЭС Фукусима [6].

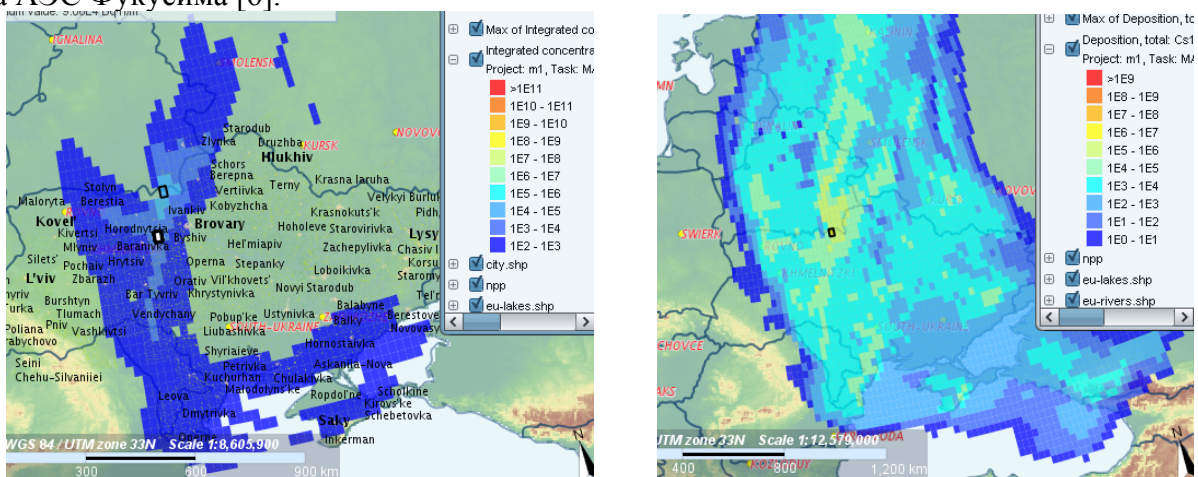


Рис. 1. Карты интегральной концентрации ($\text{мкБк} \cdot \text{ч/м}^3$) и выпадений ($\text{мкБк} \cdot \text{ч/м}^2$) ^{137}Cs с 29.04.06 ч по 03.05.00 ч. по данным системы JRODOS

На рис. 1 представлены карты интегральной концентрации в воздухе и выпадений ^{137}Cs за период с 30 апреля по 3 мая 2015 г. Преобладающая меридиональная циркуляция

приводит к распространению облака преимущественно в северном и южном направлениях. При этом прогнозируемые значения радиоактивного загрязнения весьма незначительны: максимальное значение выпадения за пределами 30-км зоны составляет 2 Бк/м², что на несколько порядков меньше уже существующих уровней загрязнения территории Украины, сформированных после аварии на ЧАЭС [4]. Максимальное значение эффективной дозы за пределами зоны отчуждения за период расчета составляет 0.01 нЗв, что также на несколько порядков меньше доз от естественного фонового излучения.

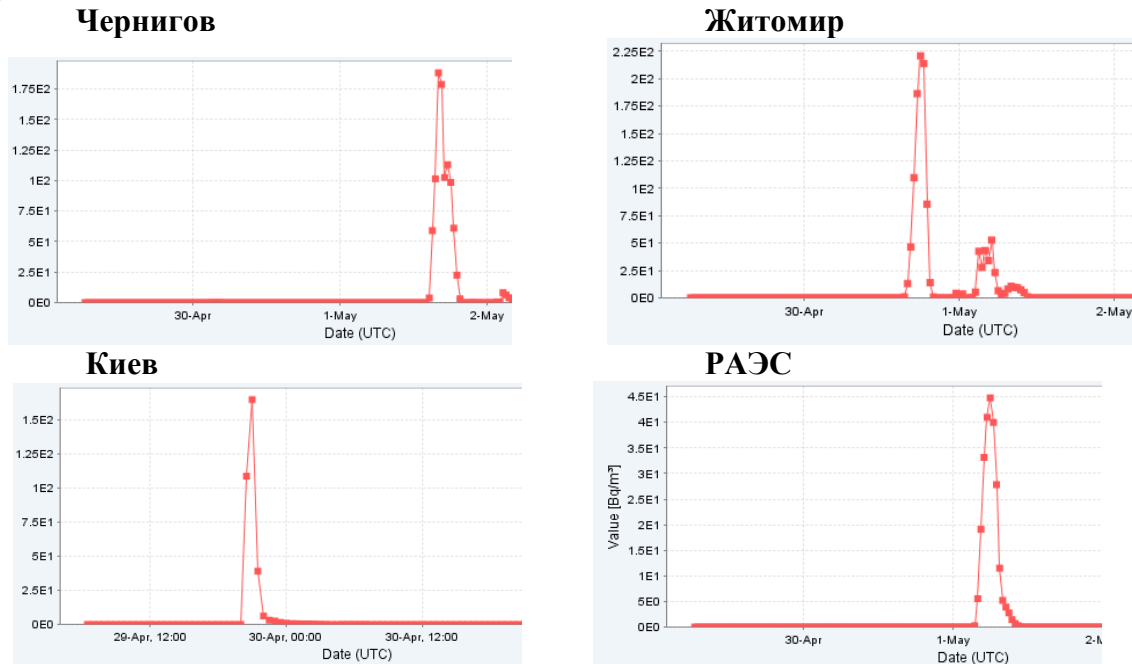


Рис. 2. Мгновенные концентрации ^{137}Cs (мкБк/м³) в Чернигове, Житомире, Киеве и на Ровенской АЭС по результатам расчетов

На рис. 2 представлены временные зависимости мгновенных концентраций ^{137}Cs в воздухе для Киева, Чернигова, Житомира и на Ровенской АЭС. Отметим, что для всех пунктов прогнозируется значительное повышение концентраций цезия в воздухе по сравнению с фоновыми значениями концентраций (~1-10 мкБк/м³). Согласно расчетам, это повышение носит кратковременный характер (несколько часов) из-за изменений направления ветра. Подобные изменения концентрации практически не влияют на уровень радиационного фона в этих населенных пунктах. Согласно измерениям концентраций цезия, проводившихся на Ровенской АЭС (РАЭС) с 29 апреля по 3 мая 2015 г., в период с 30 апреля по 1 мая наблюдалось повышение средних концентраций цезия по сравнению с фоновыми значениями (5-6 мкБк/м³). Так, с 15:00 30 апреля 2015 г. до 08:00 1 мая 2015 г. средняя концентрация цезия достигла значения 23 мкБк/м³. На следующие сутки с 08:00 1 мая 2015 г. по 08:00 2 мая 2015 г. на РАЭС также наблюдалась повышенная концентрация ^{137}Cs , равная 13 мкБк/м³. В расчетах прогнозировалось максимальное повышение концентрации цезия с 4-х до 8 ч. утра 30-го апреля, что в целом согласуется с приведенными выше измерениями.

В табл. 1 представлены средние концентрации цезия за период с 30-го апреля по 3 мая 2015 г. по результатам расчетов и измерений на Ровенской и Хмельницкой АЭС. К результатам расчетов добавлены фоновые значения концентраций (6 мкБк/м³ для РАЭС и 1.5 мкБк/м³ для ХАЭС). С учетом обсуждавшегося выше высокого уровня неопределенности, заложенной в оценке источника, приведенное сопоставление можно считать удовлетворительным.

Помимо обсуждавшегося высокого уровня неопределенности значений выброса дополнительным фактором, увеличивающим погрешность расчетов, является расположение точек измерений вблизи границы области распространения загрязнения (см. рис. 1) в зоне больших пространственных градиентов изменения интегральной концентрации. Например, результаты расчетов в соседних ячейках модели вблизи РАЭС отличаются в несколько раз. Это обстоятельство увеличивает чувствительность результатов расчетов для этих станций по отношению к входным метеорологическим данным.

Таблица 1. Сравнение измеренных и рассчитанных при различных интенсивностях выброса средних концентраций ^{137}Cs в воздухе за период с 29 апреля по 3 мая 2015 г (с учетом фоновых значений) на Ровенской и Хмельницкой АЭС

Станция	Измерения, мкБк/м ³	Расчеты ($Q=Q_{\min}$), мкБк/м ³	Расчеты ($Q=3Q_{\min}$), мкБк/м ³
ХАЭС	5.5	3.4	6.85
РАЭС	11.5	7	9.3

Выводы. Система JRODOS, недавно внедренная на Украине для прогнозирования последствий аварий на АЭС, успешно применена для прогнозирования переноса радиоактивного загрязнения в результате пожара в Чернобыльской зоне отчуждения. На территории Житомирской, Волынской, Киевской и Черниговской областей 30 апреля-1 мая 2015 прогнозировалось повышение среднесуточных концентраций ^{137}Cs в несколько раз по сравнению с значениями концентраций до пожара. Подобные повышения концентраций цезия практически не влияют на уровень радиационного фона и не приводят к дополнительным дозовым нагрузкам на население за пределами зоны отчуждения. Дополнительные выпадения цезия за пределами зоны отчуждения в результате пожара на несколько порядков меньше уже существующих уровней загрязнения территории Украины, сформированных после аварии на ЧАЭС. Измерения концентраций ^{137}Cs , проведенные на Ровенской и Хмельницкой АЭС, в целом подтвердили результаты описанного в работе прогноза. Данная работа свидетельствует о целесообразности разработки системы прогнозирования последствий любых техногенных аварий, следствием которых могут быть выбросы загрязняющих веществ в атмосферу, на основе системы JRODOS.

Список литературы

1. Державне агентство України з управління зоною відчуження, 2015. Про прес-тур у зоні відчуження. 02 травня 2015, 10:00 (<http://dazv.gov.ua/>).
2. Ievdin I., 2010. RODOS re-engineering: aims and implementation details / I. Ievdin, D. Trybushny, M. Zheleznyak [et al.] // Radioprotection. – 2010. – Vol. 45, N 5 –190p.
3. Талерко М.М. Реконструкція і прогнозування радіоактивного забруднення внаслідок комунальної радіаційної аварії за допомогою моделювання атмосферного перенесення (на прикладі аварії на Чорнобильській АЕС). Автореферат дис. доктора тех. наук 21.06.01 Екологічна безпека. – 2011. – Київ, ІПБ АЕС НАН України. – 21 с.
4. Карта радионуклідного забруднення України <http://chornobyl.in.ua/karta-radionulid-ukraine.html>
5. Халченков А.В., Ковалец И.В., Романенко А.Н. (2015) Адаптация метеорологической модели WRF для прогнозирования полей ветра вокруг Ривненской АЭС // Математические машины и системы. – 2015. - №1. – С. 130- 137.
6. Kovalets I. V., Robertson L., Persson C., Didkivska S.N., Ievdin I.A. Trybushnyi D., 2014. Calculation of the far range atmospheric transport of radionuclides after the Fukushima accident with the atmospheric dispersion model MATCH of the JRODOS system // Int. J. of Environment and Pollution. – 2014. – Vol. 54, No 2/3/4. – P. 101-109.